

# 北朝鮮:テポドン2の推進力、1号の~~8~~6倍 北大教授ら解析 - 毎日jp(毎日新聞)



毎日新聞社 | English | まいまいクラブ

サイトマップ 検索

記事 写真

天気 特集 フォト 動画 地域 ランキング ことば 速報一覧 RSS

事件・事故・裁判 話題 経済 IT 海外 政治 サイエンス 気象・地震 人事・訃報 社説・解説・コラム

トップ > ニュースセレクト > 海外 > 緊迫 北朝鮮情勢 > アーカイブ > 記事

## 緊迫 北朝鮮情勢

### 北朝鮮:テポドン2の推進力、1号の~~8~~6倍 北大教授ら解析

【ソウル西脇真一】北朝鮮が昨年発射した長距離弾道ミサイル「テポドン2号」が、98年発射の「1号」に比べ、推進力が約8倍に向上したとみられることが、日置幸介・北海道大教授(測地学)らの研究で分かった。人工衛星を使ったGPS(全地球測位システム)のデータを解析した。日置教授は「北朝鮮のミサイル技術が着実にレベルアップしていることが裏付けられた」と話している。

昨年12月に米国サンフランシスコであった米地球物理学連合の秋季大会で発表した。日置教授らはエンジンの排気に含まれる水蒸気が電離層の電子を消失させる点に着目。日本に1000カ所以上あるGPS観測局のデータを解析、電離層に穴が開いたテポドン2号の航跡をとらえた。防衛省の発表によると、テポドン2号とみられるミサイルは、昨年4月5日午前11時半に北朝鮮から発射。解析では、6分後に高度265キロに到達した1段目の上昇速度は、日本のH2Aロケットに見劣りしない。また、電離層における電子減少率の比較から、1号に比べ2号はエンジンの推進力が8倍だったとみられる。

毎日新聞 2010年1月15日 東京朝刊

# SPLASHDOWN



- Launch pad
- Danger zones
- ✕ Splashdown sites
- - - First-stage trajectory
- ⋯ Second-stage trajectory

ミサイル実験!

光明星の打上!

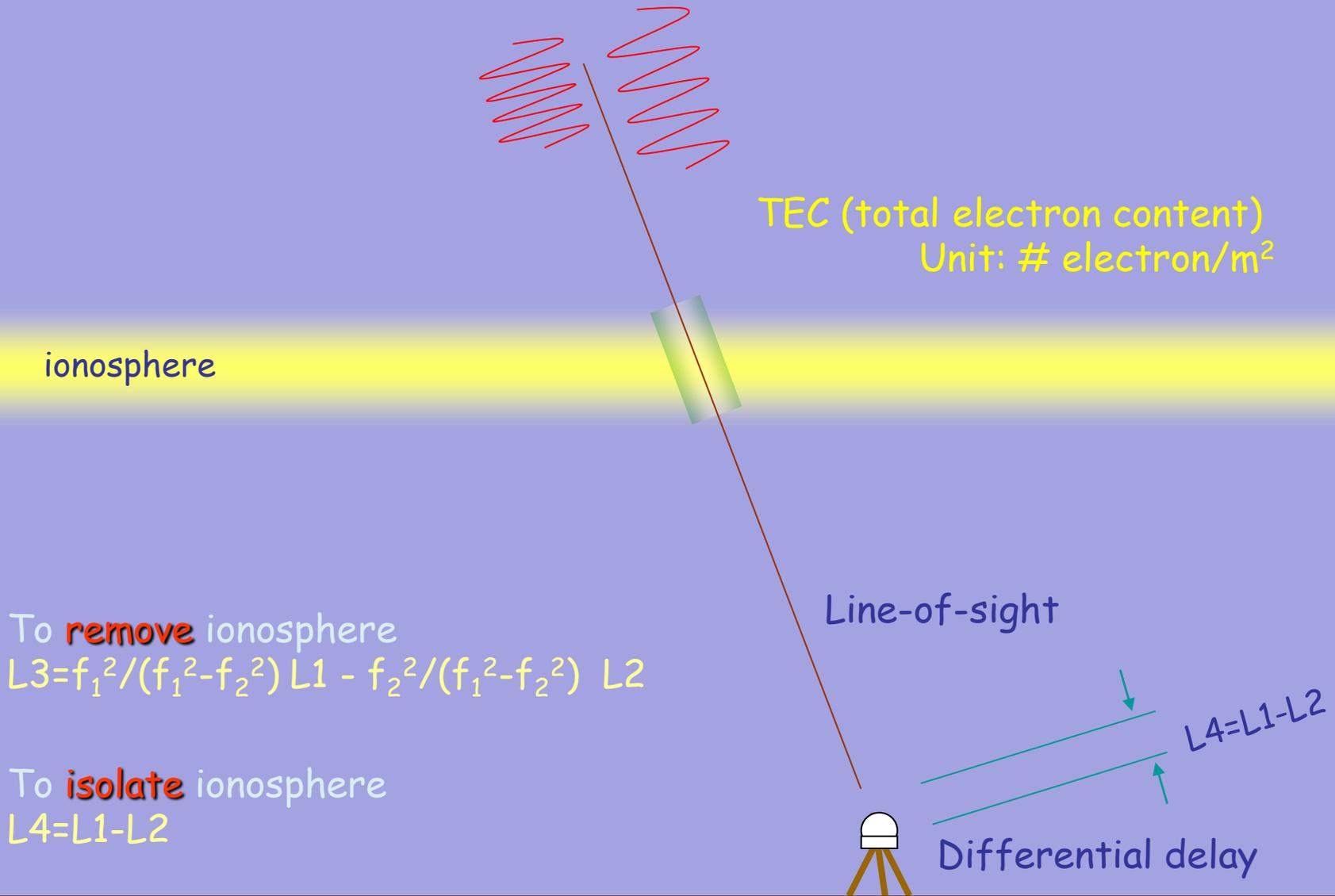
Taepodong-2 on 5 April, 2009



GPS局950128  
(札幌市南区藤野)

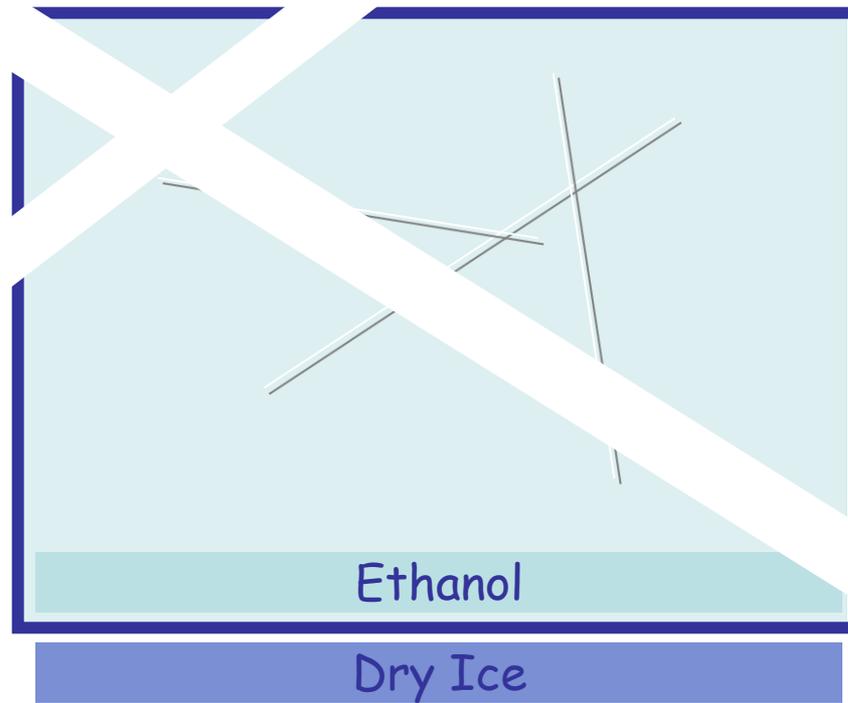
2009/April/5

# Measuring ionosphere with GPS



# Wilson's Egg Chamber to Detect Rockets/Missiles

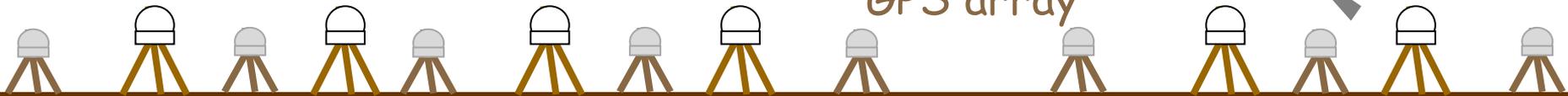
地球電離圈



ウイルソンの霧箱

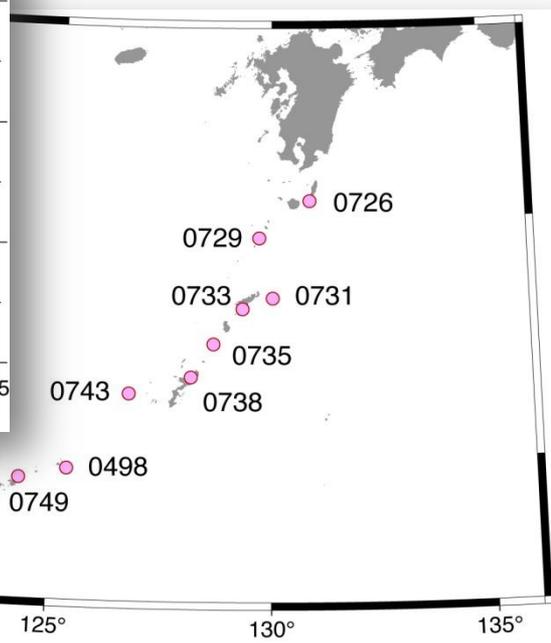
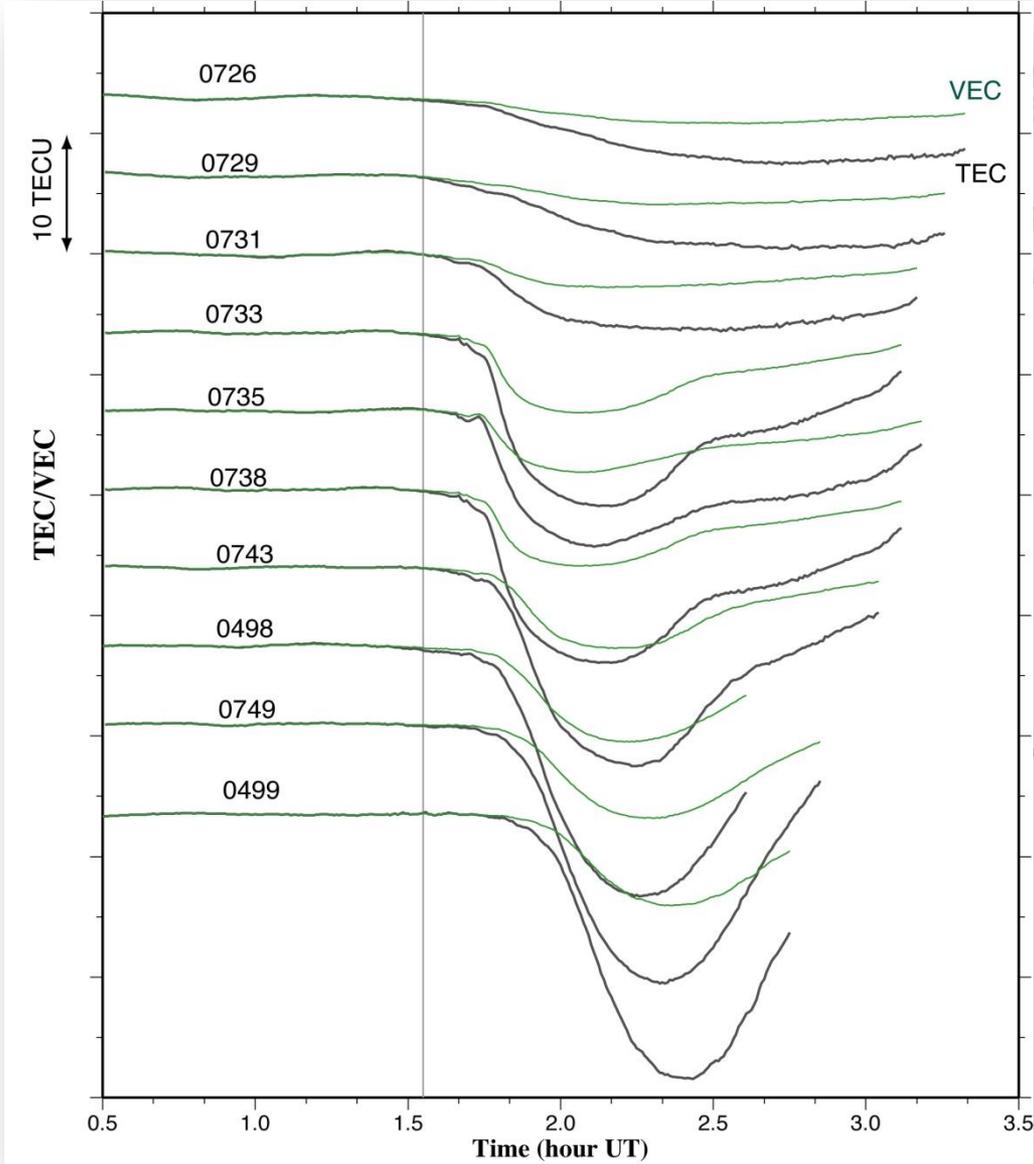


GPS array



ロケットや彗星の通過痕がで

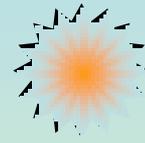
きる



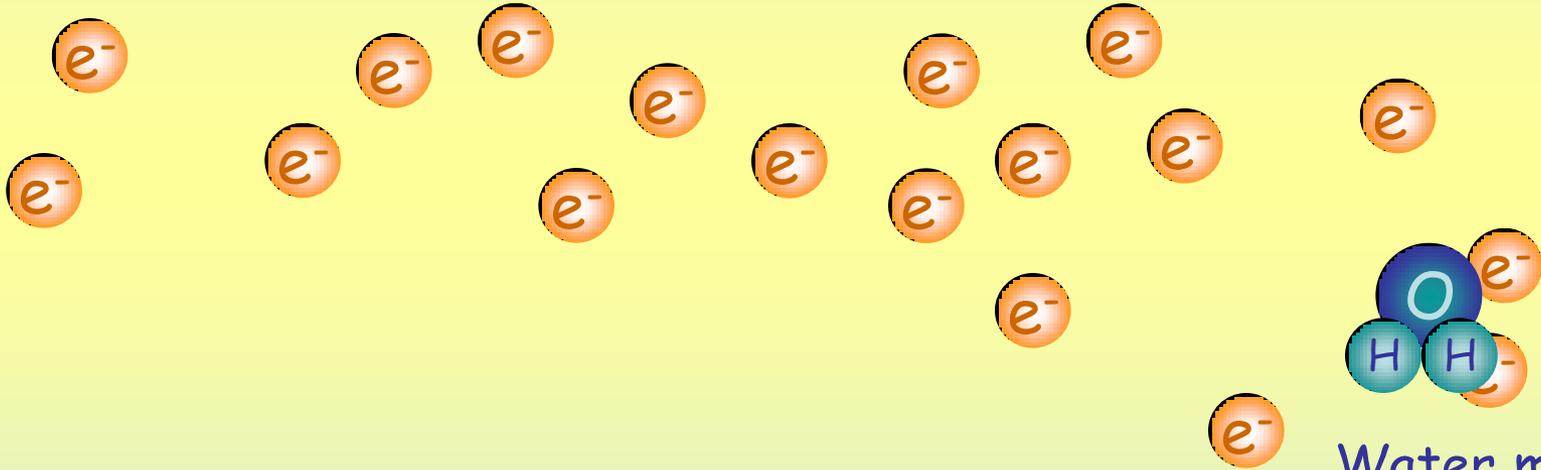
IA F8  
(6)



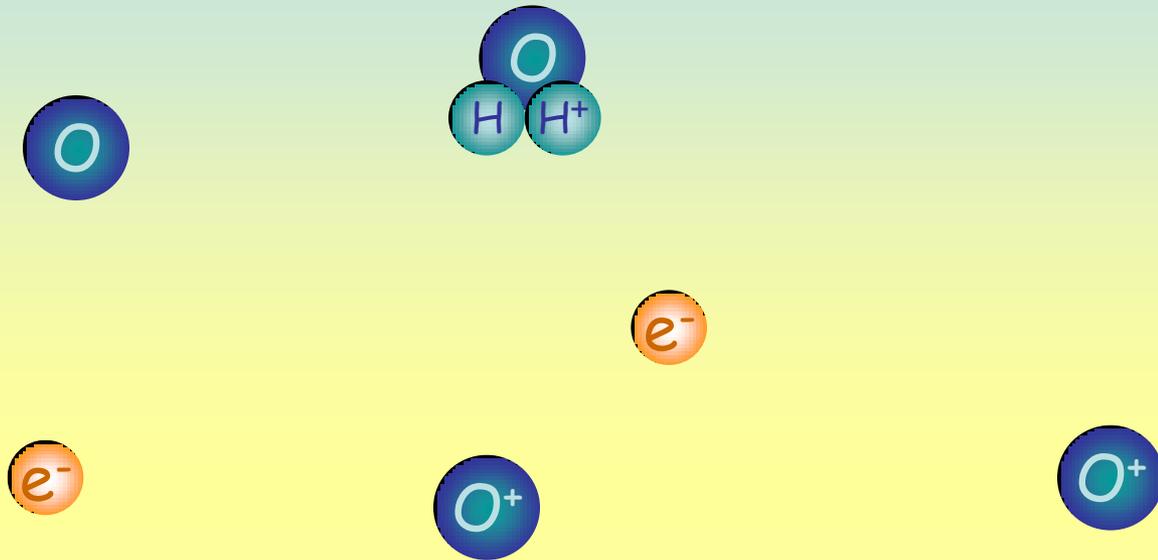
LIFT OFF



Ionosphere



Water molecule

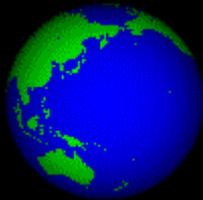


Depletion of electrons (電子の枯渇)  
(Mendillo et al., 1975)

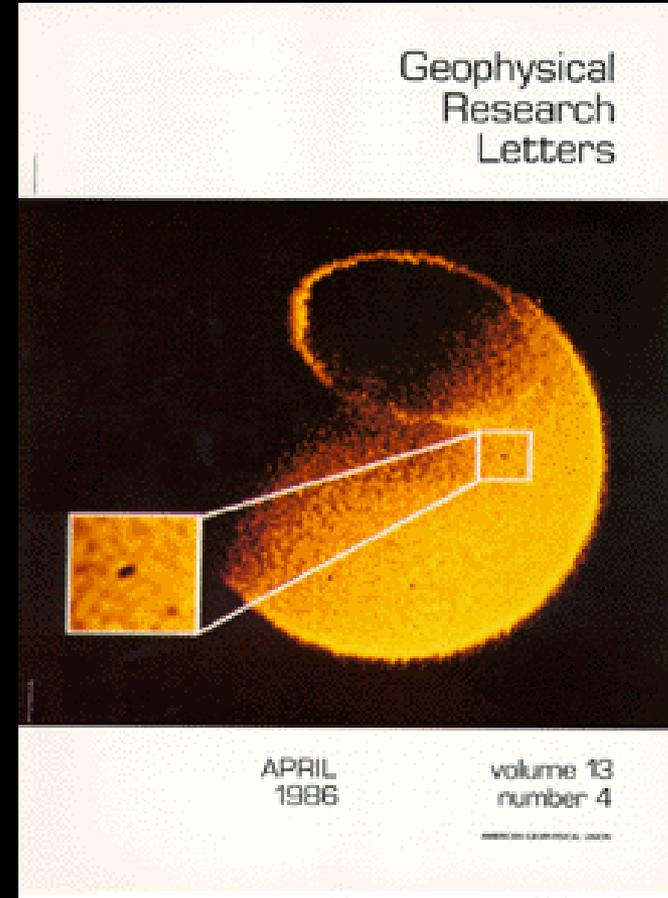
本当は彗星を探してた

# Small Comets Hypothesis

Frank, L.A. et al., On the  
influx of small comets into  
the Earth's upper atmosphere,  
I observation,  
II interpretation,  
GRL, Vol.13 No.4, 1986.



20 small comets (~20 ton) collides  
with the Earth every minutes



UV image of day glow by DE-1

# Immediate Controversy in GRL

Donahue, T.M., Comment on the paper "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere II, Interpretation" by Frank et al., *GRL*, 13, 555, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply, *GRL*, 13, 559, 1986.

McKay, C.P., Comments, *GRL*, 13, 976, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply, *GRL*, 13, 979, 1986.

Hanson, W.B., Comments, *GRL*, 13, 981, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply, *GRL*, 13, 985, 1986.

Chubb, T.A., Comments on the paper "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere I. Observations", *GRL*, 13, 1075, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply, *GRL*, 13, 1079, 1986.

Morris, D.E., Comment on "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere II, Interpretation", *GRL*, 13, 1482, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply to Morris, *GRL*, 13, 1484, 1986.

Davis, P.M., Comment on the letter "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere II, Interpretation", *GRL*, 13, 1181, 1986.

Frank, L.A. et al. Reply to Davis and Nakamura et al., *GRL*, 13, 1186, 1986.

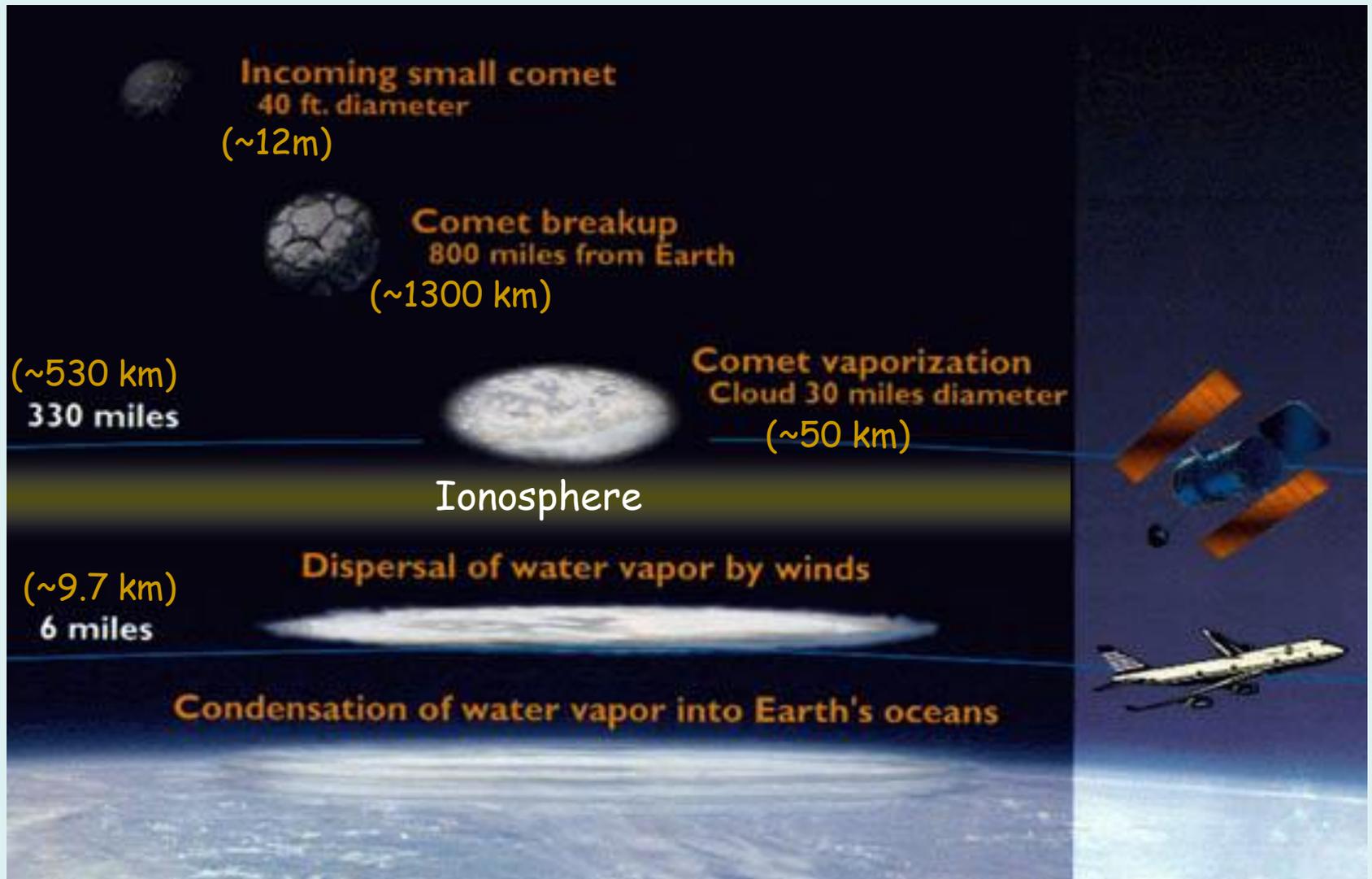
Nakamura, Y. et al., Comment on the letter "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere II, Interpretation", *GRL*, 13, 1184, 1986.

Soter, S., Comment on the paper "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere", *GRL*, 14, 162, 1987.

Frank, L.A. et al. Reply to Soter, *GRL*, 14, 164, 1987.

Cragin, B.L. et al. Comment on the papers "On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere I. Observations and II. Interpretations", *GRL*, 14, 573, 1987.

Frank, L.A. et al. Reply to Cragin et al., *GRL*, 14, 577, 1987.



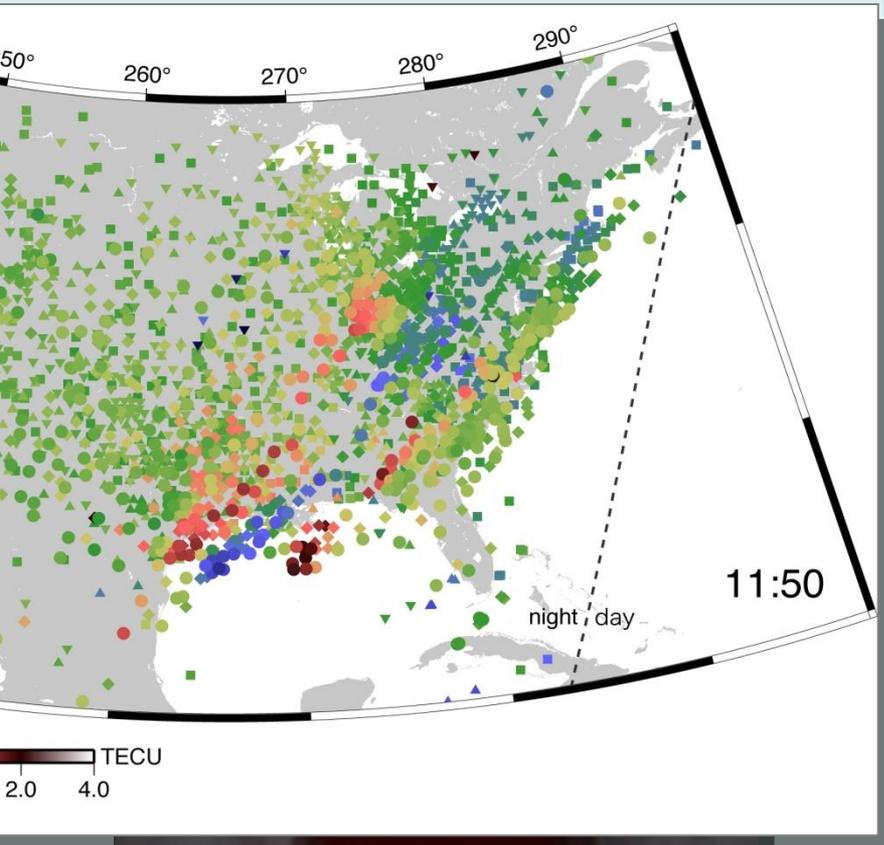
Frank, L.A., "Small comets and our origins", 16<sup>th</sup> annual presidential lecture, Univ. Iowa, 1999.

20 ton water = ~100 sec burn of H-IIA

20 comets/minutes = ~20 comets/day into GEONET

A linear electron depletion on 19 Jan. 2006 in NA

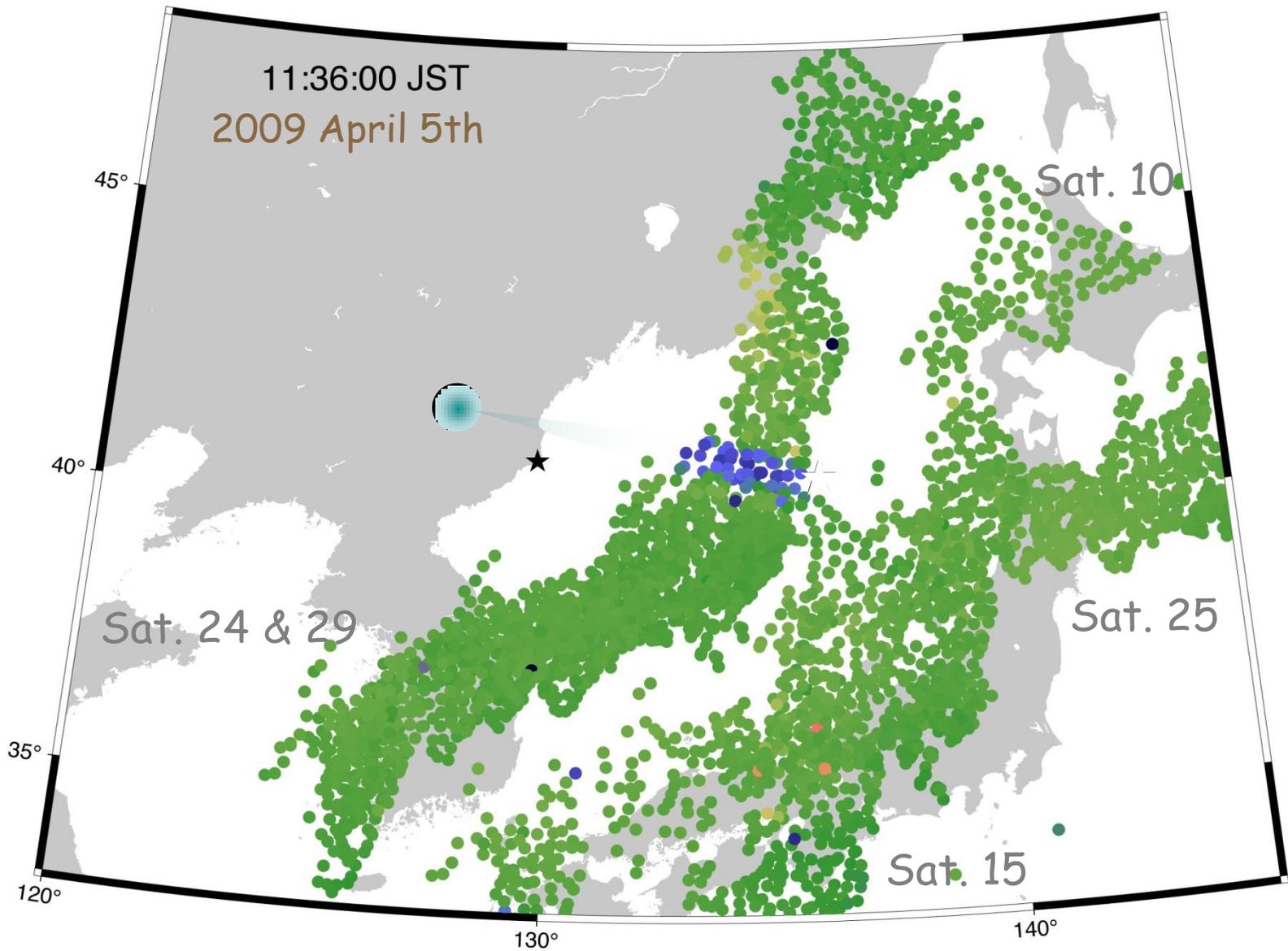
Electron enrichment by physical displacement associated with the high-density water cloud injection ("snowplow effect")



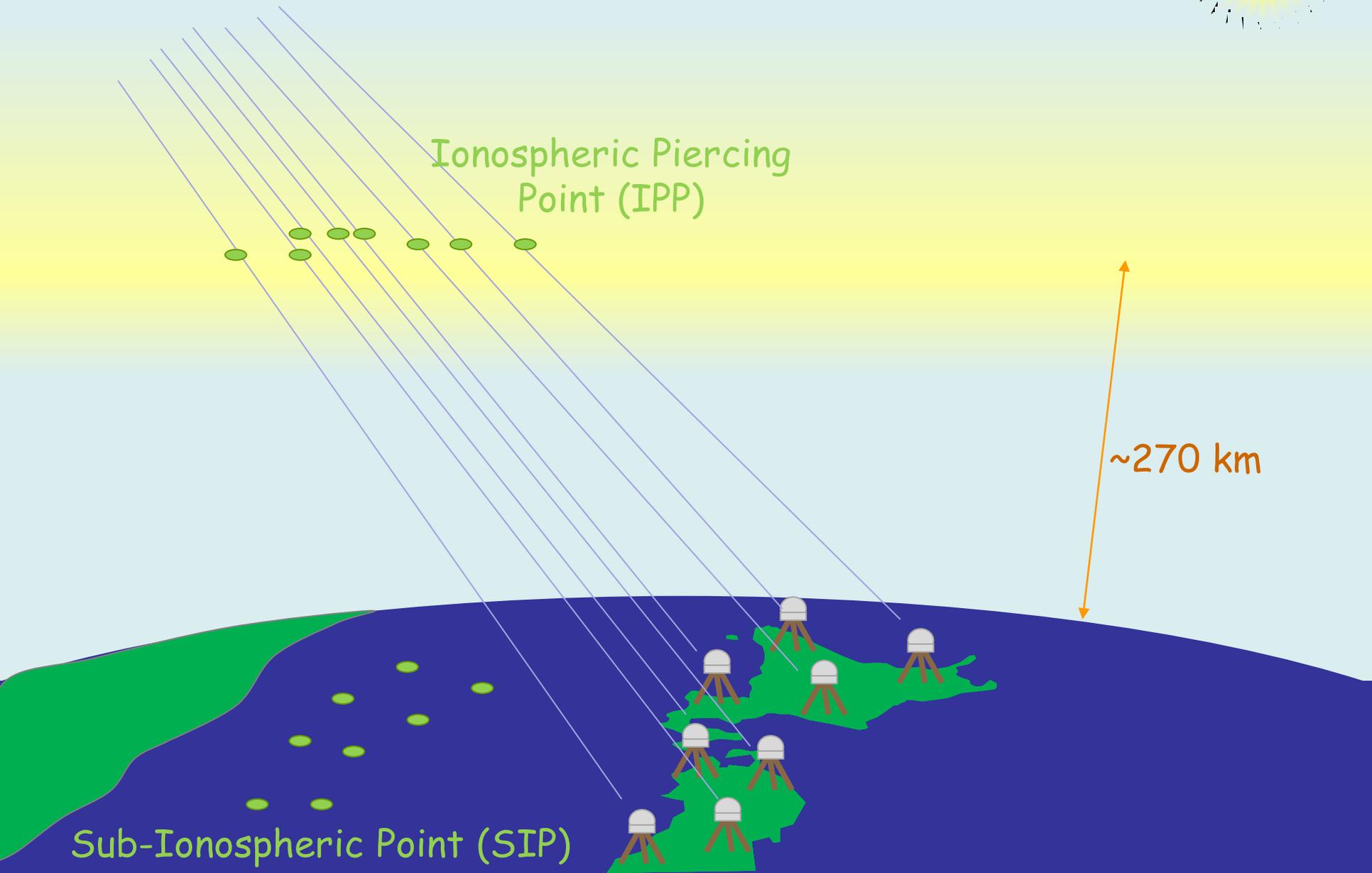
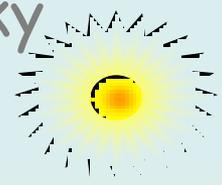
平成二十年連合大会  
「線状のTEC減少は  
彗星の衝突痕か」  
日置幸介、津川卓也

Electron depletion by water molecules from the comet ("ionospheric hole")

忘れていた頃に…



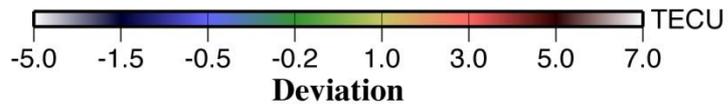
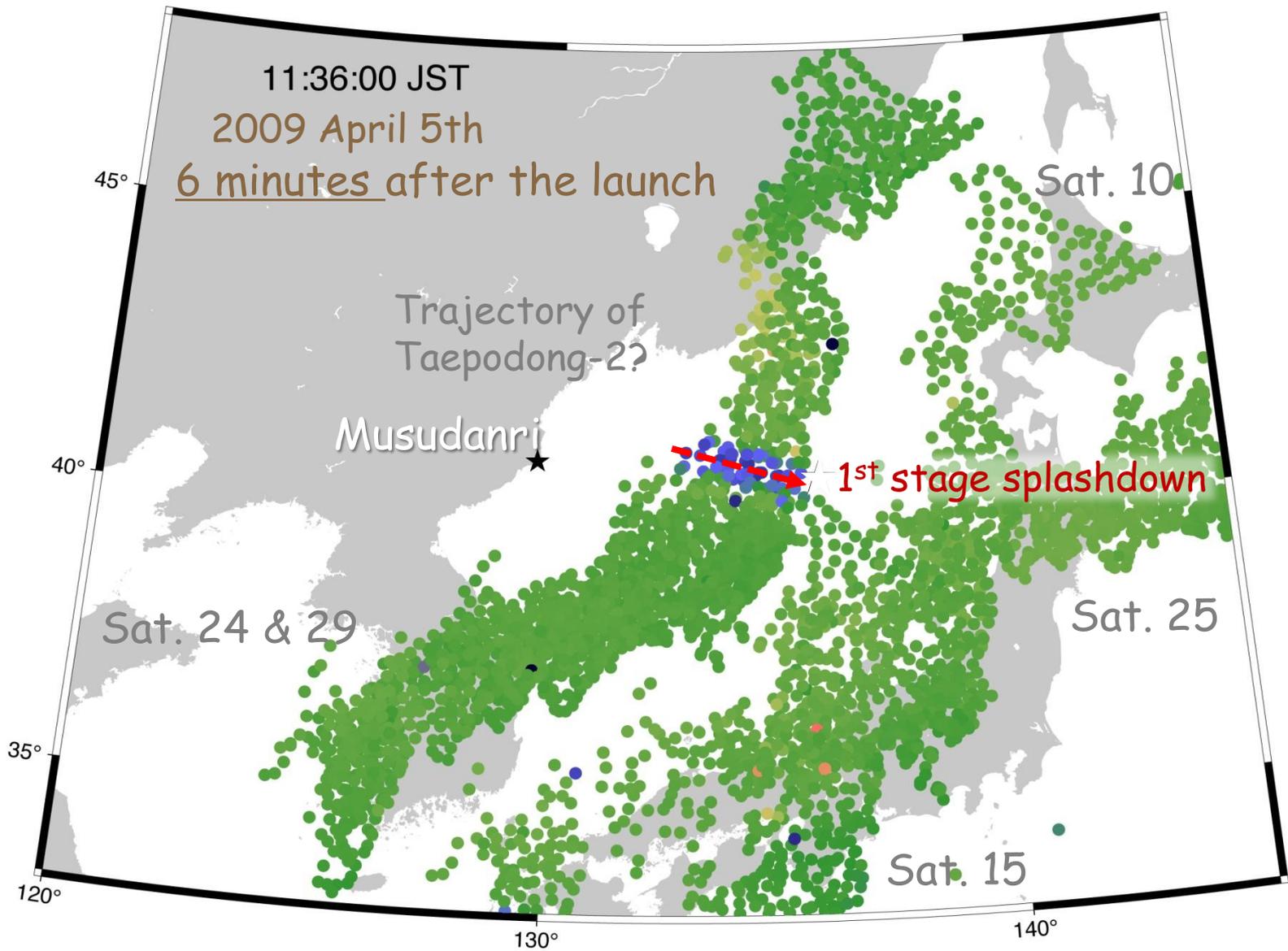
# Japanese GPS stations can see Korean sky



Ionospheric Piercing Point (IPP)

~270 km

Sub-Ionospheric Point (SIP)



政府発表

(打ち上げ)

1 飛翔体の発射情報

- (1) 発射時刻 11 時 30 分頃
- (2) 発射場所 北朝鮮
- (3) 発射方向 東
- (4) 発射数 1 発

2 通過情報等

11 時 37 分頃 東北 地方から太平洋へ通過したと推定される。なお、破壊措置の実施は (有り・無し)。

3 飛翔体情報

(1) 落下物1

- ア 落下すると予測される時刻 \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分頃
- イ 落下すると予測される地域  
洋上: \_\_\_\_\_ の \_\_\_\_\_、約 \_\_\_\_\_ kmの \_\_\_\_\_  
陸上: \_\_\_\_\_ 地方 ( \_\_\_\_\_ 県)
- ウ 落下したと推定される時刻 11 時 37 分頃
- エ 落下したと推定される地域  
洋上: 秋田 の 西、約 280 kmの 日本海  
陸上: \_\_\_\_\_ 地方 ( \_\_\_\_\_ 県)

40°35'N 135°58'E

時刻 \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分頃  
地域 \_\_\_\_\_、約 \_\_\_\_\_ kmの \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ 県)  
時刻 \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分頃  
地域 \_\_\_\_\_、約 \_\_\_\_\_ kmの \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ 県)

る情報  
2100kmの太平洋上で追尾を終了



JMSDF P3C aircraft

(注) 上記情報は、現時点におけるものであり、修正の可能性がある。

## 北朝鮮当局による発表

北朝鮮は、発射当日、「銀河2号」が同日十一時二十分に咸鏡北道花台郡にある東海衛星発射場から発射され、十一時二十九分二秒に「光明星2号」を自らの軌道に正確に進入させた旨発表。

北朝鮮は、発射当日、衛星からは、不滅の革命頌歌「金日成將軍の歌」と「金正日將軍の歌」の旋律と測定資料が470MHzで地球上に伝送されており、衛星を利用してUHF周波数帯域で中継通信が行われている旨発表。

平壤―東京に十分の時差？

# 北朝鮮によるミサイル発射について

平成21年5月15日 防衛省

## 2 分析

現時点までに入手し得た諸情報を分析・検討して得られた内容は以下のとおりである。

(1) 発射後、「四月五日十一時三十分頃、北朝鮮から東の方向に1発発射された。」と発表した件については、北朝鮮は、同日十一時三十分、北朝鮮北東部沿岸地域のテポドン地区から1発の「ミサイル」を発射したと判断される

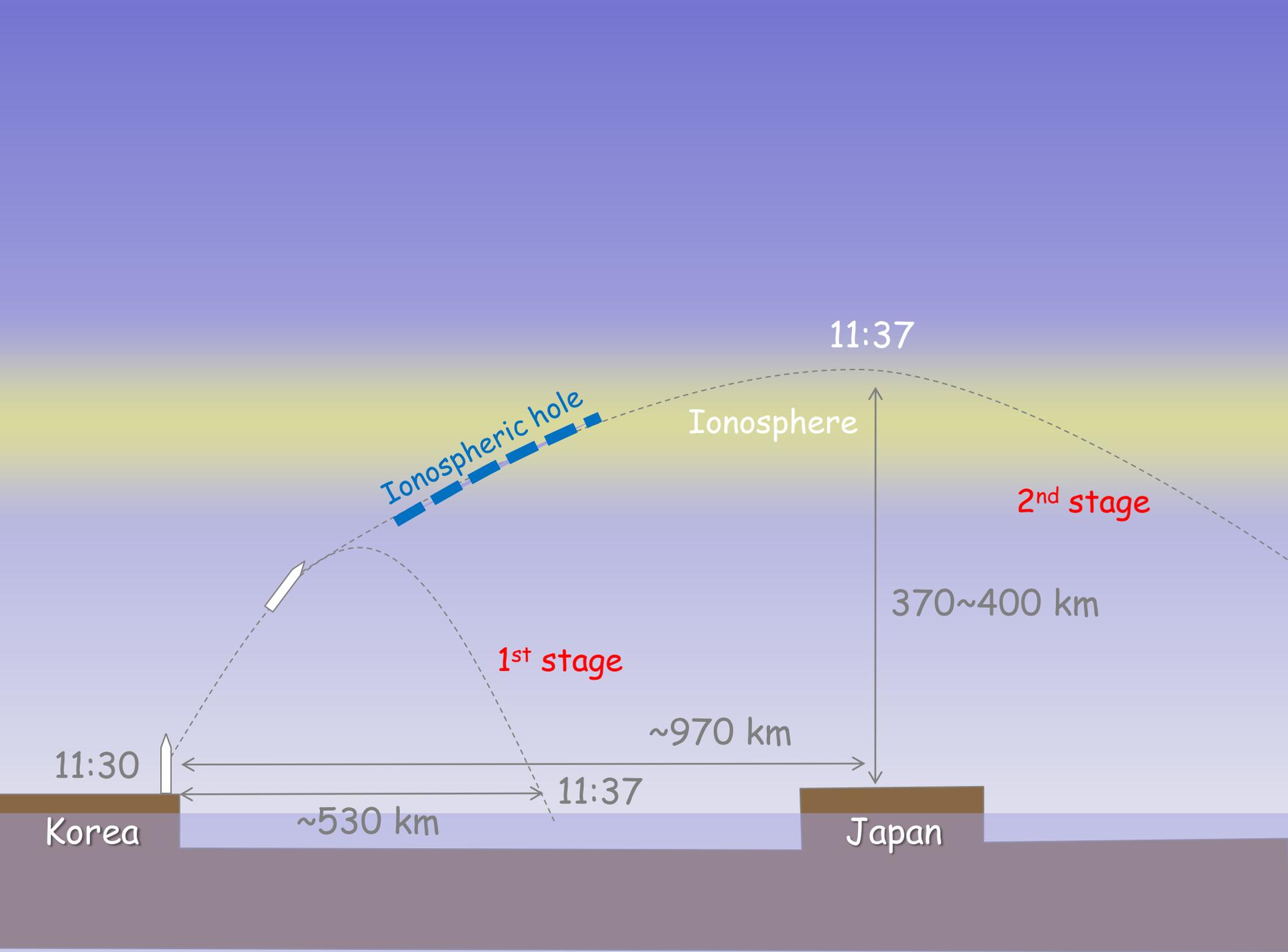
「十一時三十七分頃、東北地方から太平洋に通過したものと推定される。」と発表した件については、当該「ミサイル」は、1段目の推進装置とみられる物体を分離した後、十一時三十七分頃、我が国の上空約370km、約400kmを東北地方から太平洋に通過したと判断される。我が国領域内には落下物は確認されていない。

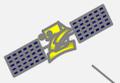
「落下物1が十一時三十七分頃秋田県の西、約280kmの日本海上に、落下したものと推定される。」と発表した件については、1段目の推進装置とみられる物体は、十一時三十七分頃、北朝鮮が日本海に設定した危険区域内である秋田県の西約320km(テポドン地区から約540km離れた場所)に落下したと推定される。

「落下物2が十一時四十三分頃日本の東、約1270kmの太平洋上に落下すると予測された。(十一時三十八分の時点)」と発表した件については、そのような落下は確認されていない。

「十一時四十八分頃、日本の東、2100kmの太平洋上で追尾を終了した。」と発表した件については、2段目以降の部分については、テポドン地区から3000km以上飛翔して、十一時四十六分頃、北朝鮮が太平洋上に設定した危険区域の西端付近に落下したと推定される。

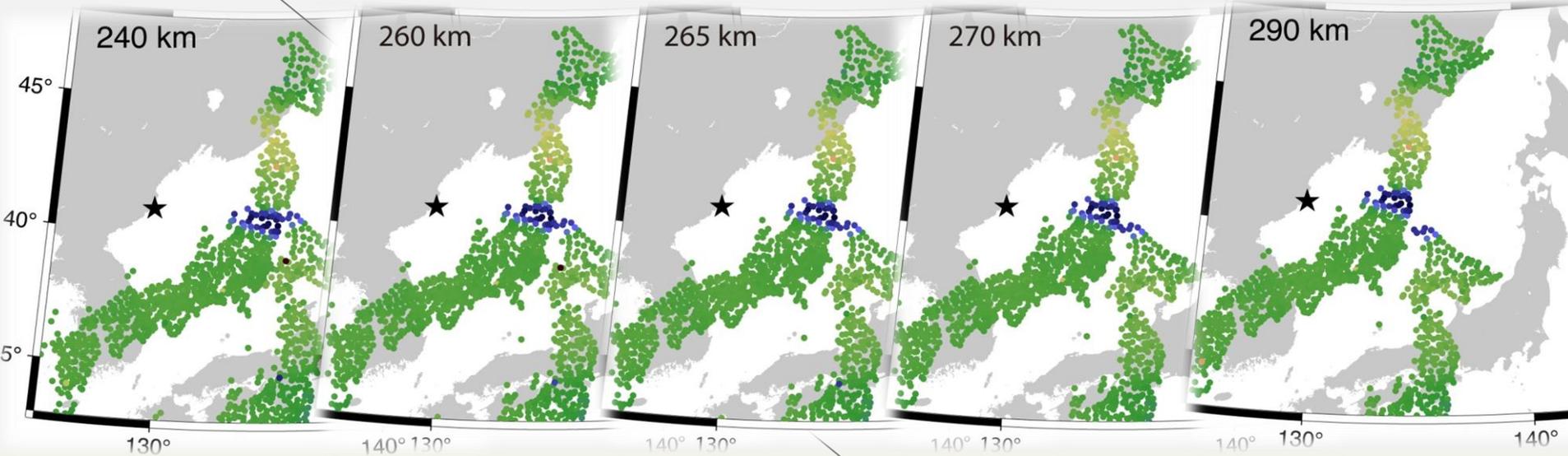
北朝鮮が発表した、「人工衛星を軌道に進入させることに成功した」と及び「衛星から旋律等が470メガヘルツで地球上に伝送されている」とは確認されていない。





# 265 km position depends on ionospheric consistency

Sat. 29 & 15 at 11:37



A new constraint:  
at 11:36  
height ~265 km,  
horizontal distance ~530 km

Sub-Ionosferic Point (SIP)

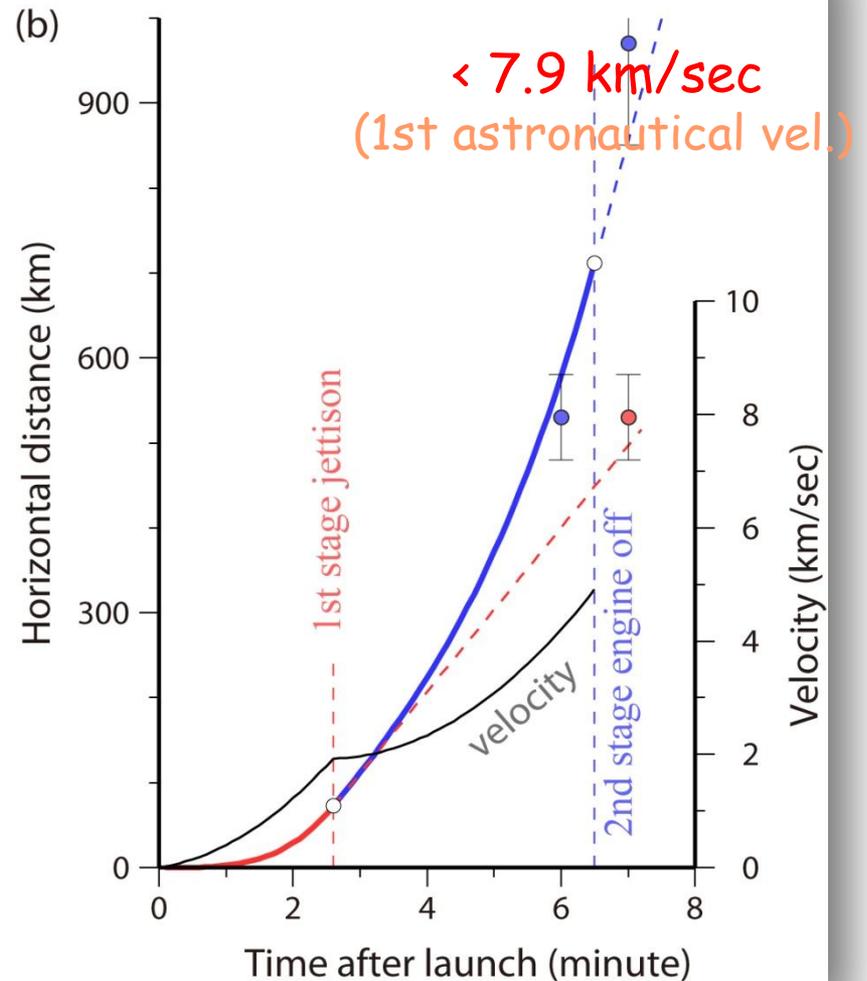
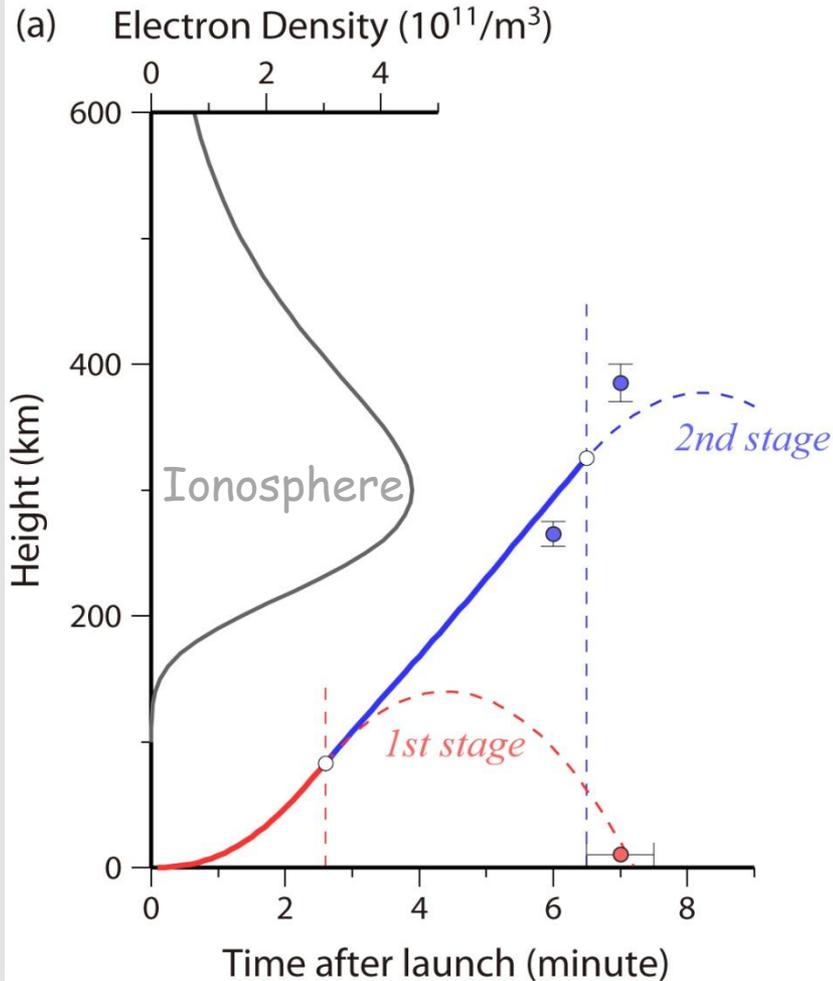




すべての事実には  
ほぼ辻褄が合う軌道を作る

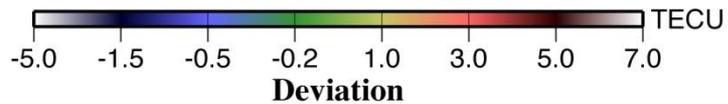
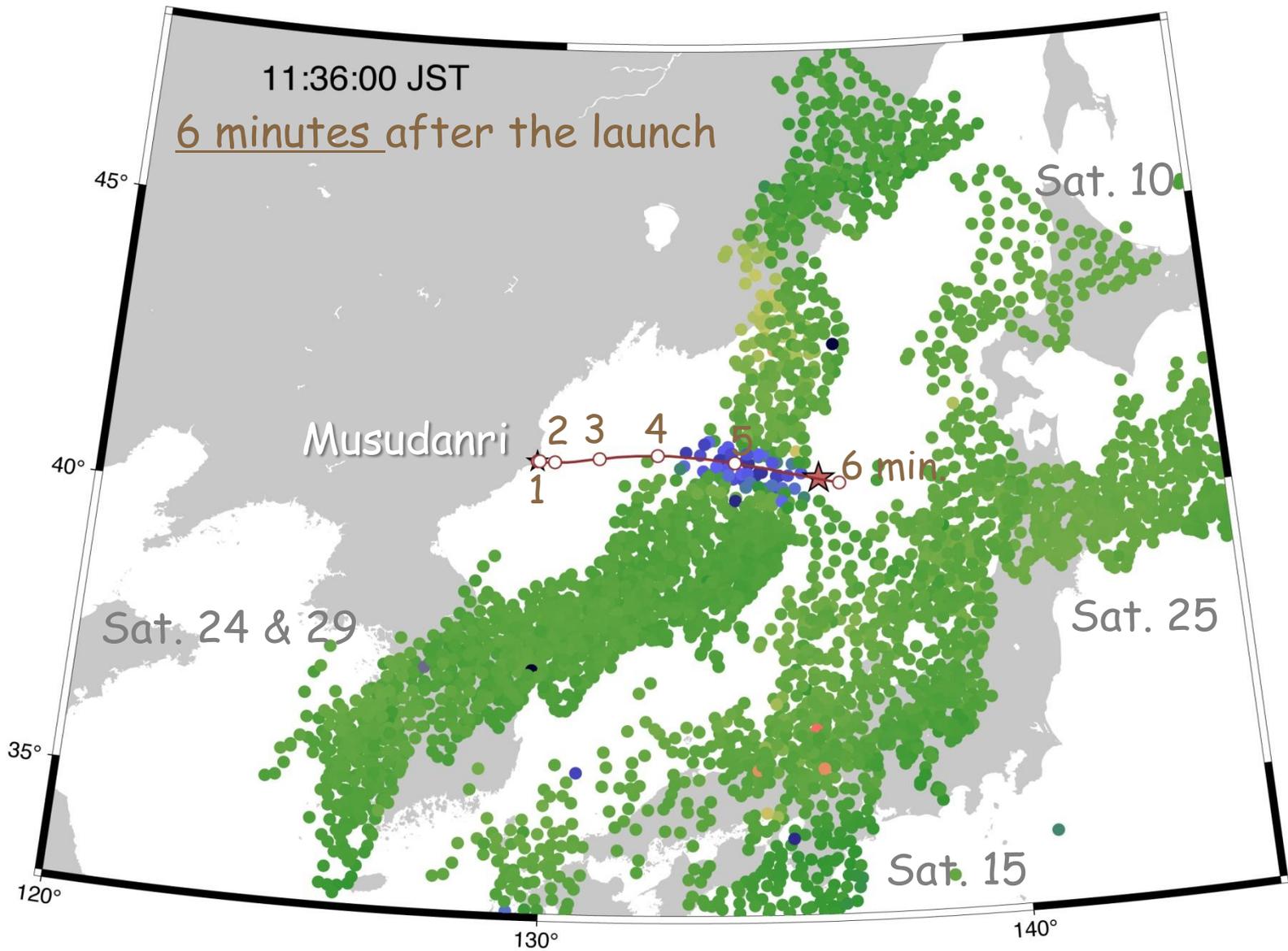
2<sup>nd</sup> stage off at 6:30  
(ballistic trajectory after that)

# Inferred trajectory of Taepodong-2



1<sup>st</sup> stage jettison at 2:40  
(no air drag after that)

Constant elevation change  
Constant increase of acceleration



水分子拡散と電子枯渴を  
計算機内で再現

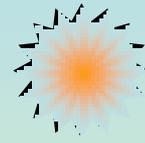
2017

2018

2019

2020

2021



Ionosphere

Anthropogenic decay

$$\frac{dn(e^-)}{dt} = -\beta_{eff} \cdot n(e^-) + f(z, \theta) - \beta_{H_2O} \cdot n(e^-)$$

電子数の変化

自然な減少項

太陽紫外線  
による生成項

人為的減少項  
水分子による  
Water molecule

# 北朝鮮によるミサイル発射について

平成21年5月15日 防衛省

## 2 分析

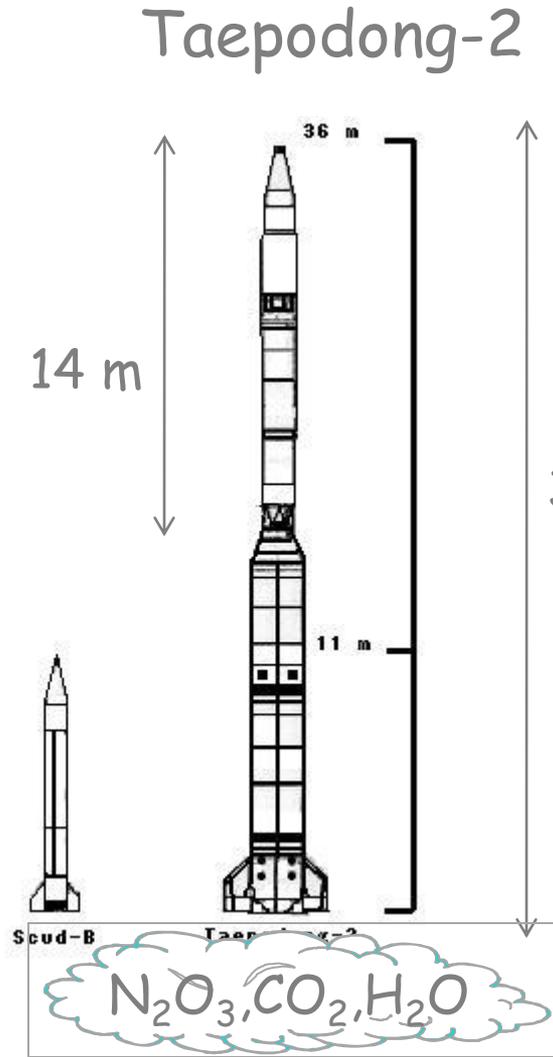
現時点までに入手し得た諸情報を分析・検討して得られた内容は以下のとおりである。

(2) 今回の発射は、北朝鮮は3段式の人工衛星運搬ロケットであると発表しているが、これまでの北朝鮮の弾道ミサイル開発状況等を踏まえれば、「テポドン2」又は派生型(注)が利用されたものと判断される。

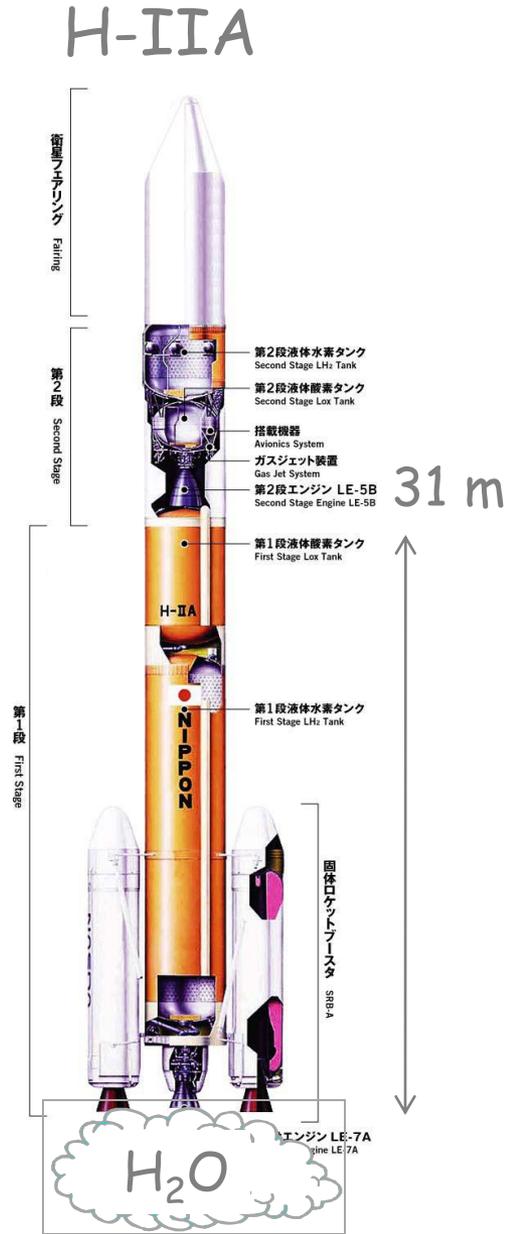
(注)「テポドン2」は、新型ブースターを1段目、ノドンミサイルを2段目に利用した2段式ミサイルで、射程が約六千km、**液体燃料推進方式**であると考えられる。2006年に発射実験を行ったが、発射数十秒後に高度数kmの地点で、1段目を分離することなく空中で破損し、発射地点の近傍に墜落したと考えられる。また、「テポドン2」の派生型については、例えば、2段式の「テポドン2」の弾頭部に推進装置を取り付けて3段式としたものなどが考えられる。

なお、北朝鮮の朝鮮中央テレビの映像等を踏まえれば、その全長は約三十mで、3段式であった場合、1段目の長さは約十六m、**2段目の長さは約八m**、3段目の長さは約六mとなる。また、**燃焼**の火炎状態等から、1段目の推進剤として液体燃料を使用したと考えられる。

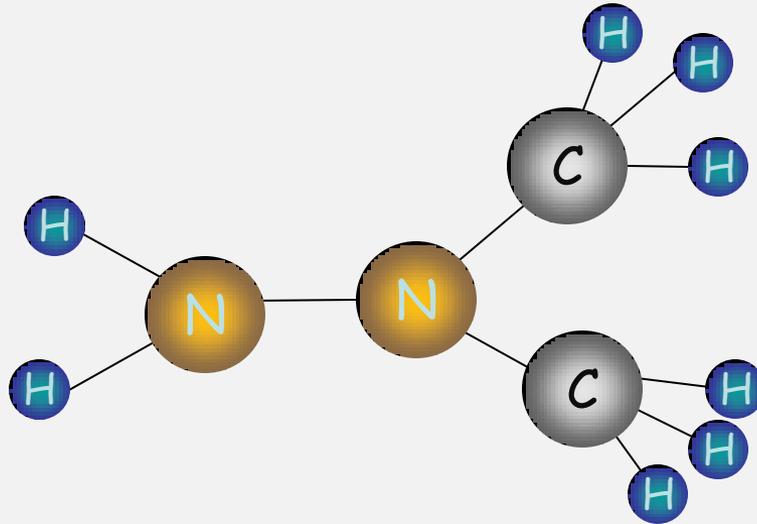
# Comparison of their size



Weight ratio  
 $(14 / 31)^3 \sim 9\%$



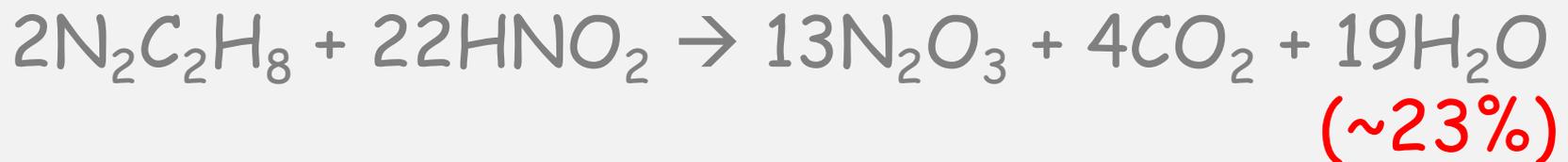
# 非対称ジメチルヒドラジンを硝酸で酸化



Fuel of Taepodong is hydrazine

(Dimethylhydrazine + nitric acid)

(H-IIA : Liquid H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>)



9  
%  
の  
24  
%  
は  
約  
2  
%

H-IIA thrust (F) 推力

1<sup>st</sup> stage (LE-7A) ~1,073 kN

Specific impulse (ISP) 比推力

~429 sec.

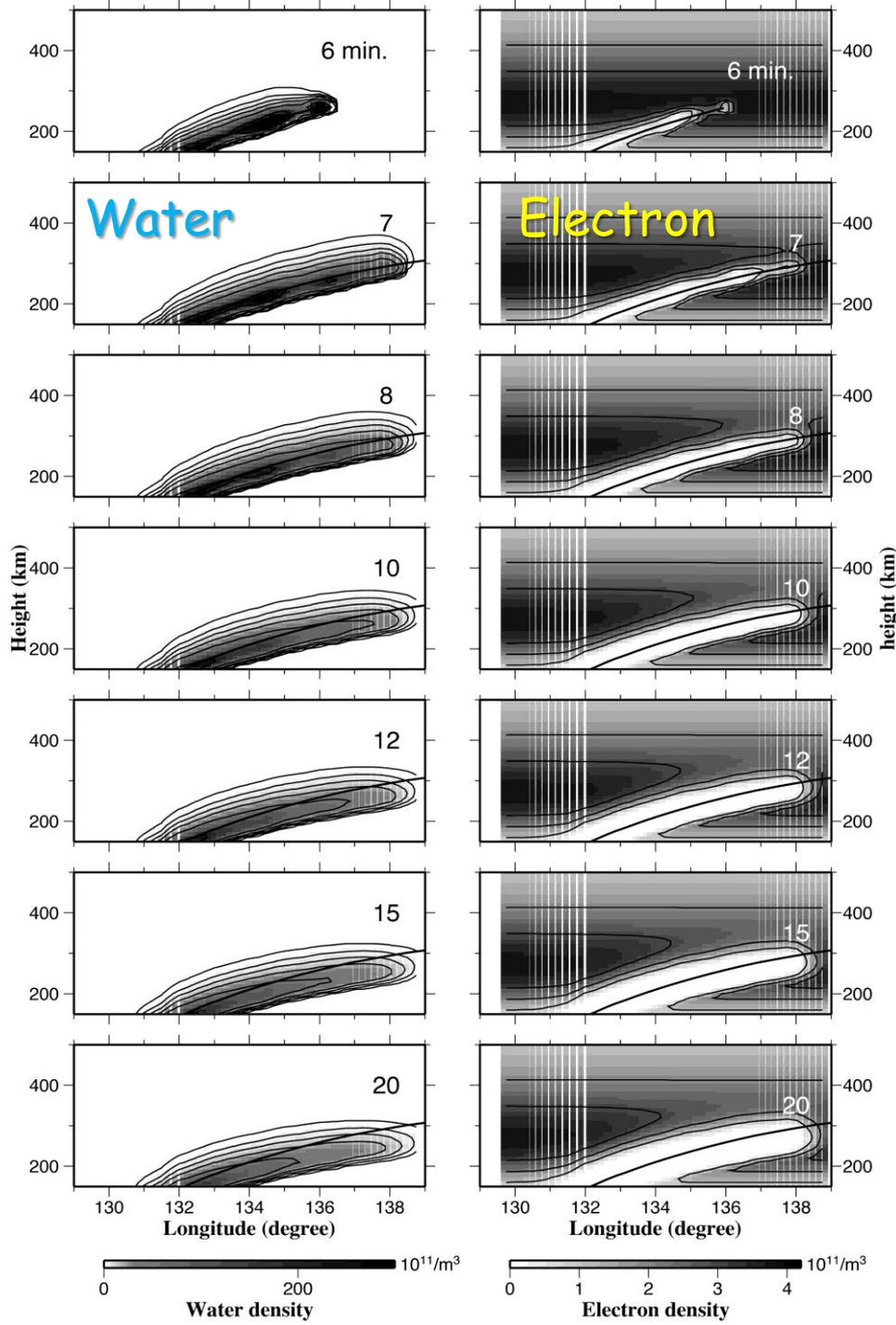
# of molecule in the exhaust (1<sup>st</sup> stage):

$8.5 \times 10^{27}$  H<sub>2</sub>O/second



$$S = \frac{F}{g \times ISP \times M \times N_A}$$

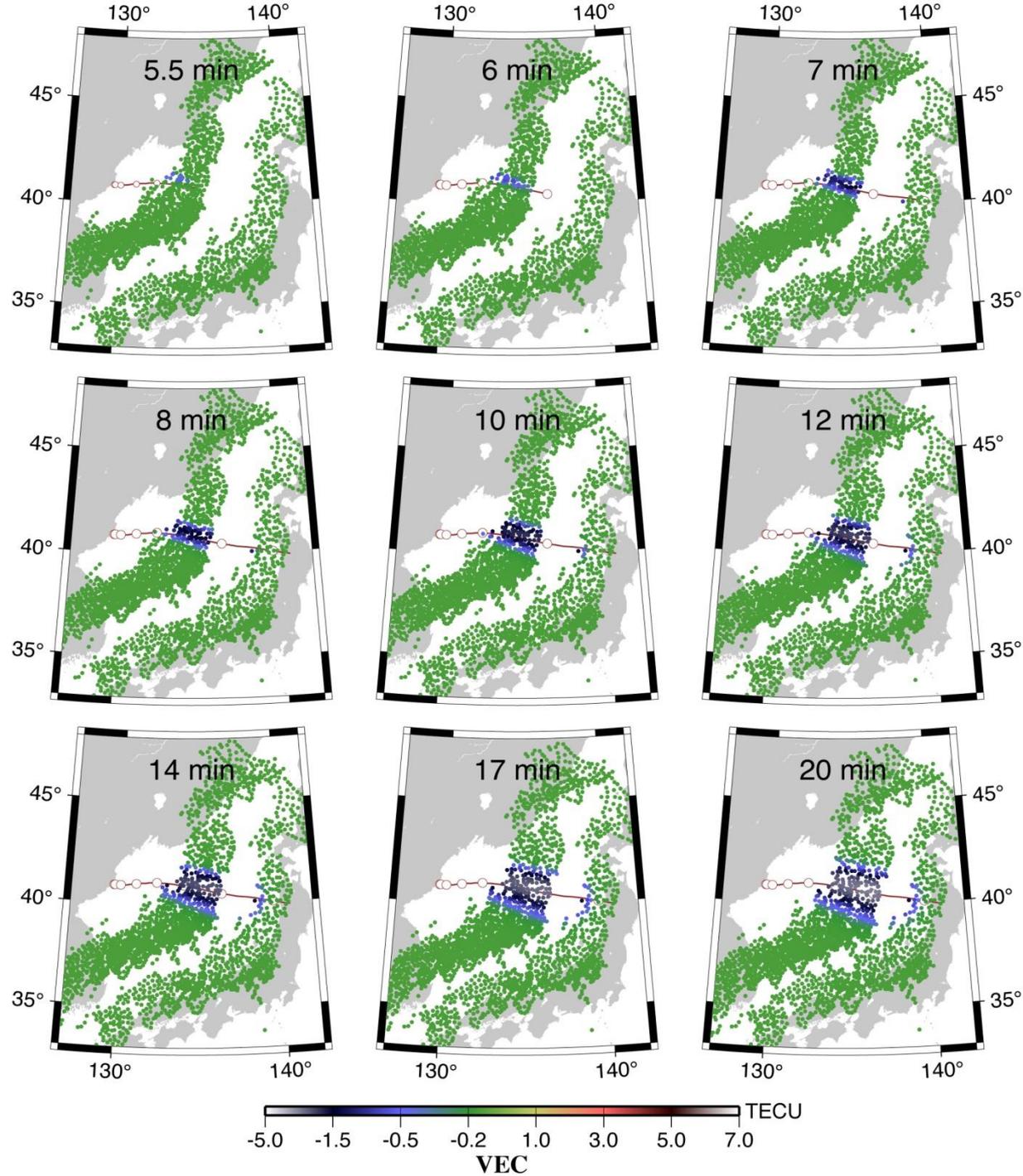
# of molecule in the exhaust (2<sup>nd</sup> stage):  
 $1.7 \times 10^{26}$  H<sub>2</sub>O/second (2% of H-IIA)



Snapshots of water diffusion and development of ionospheric hole

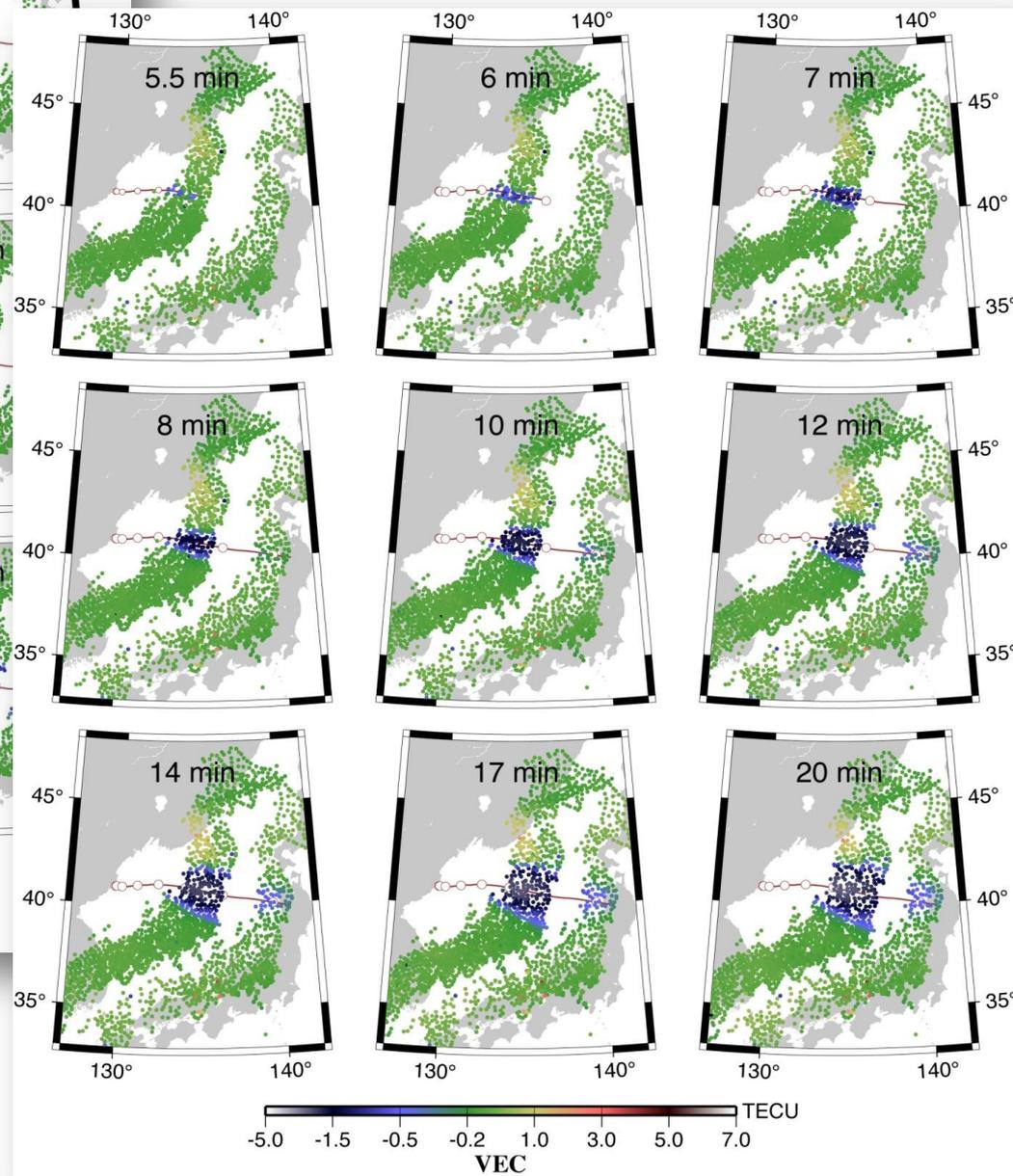
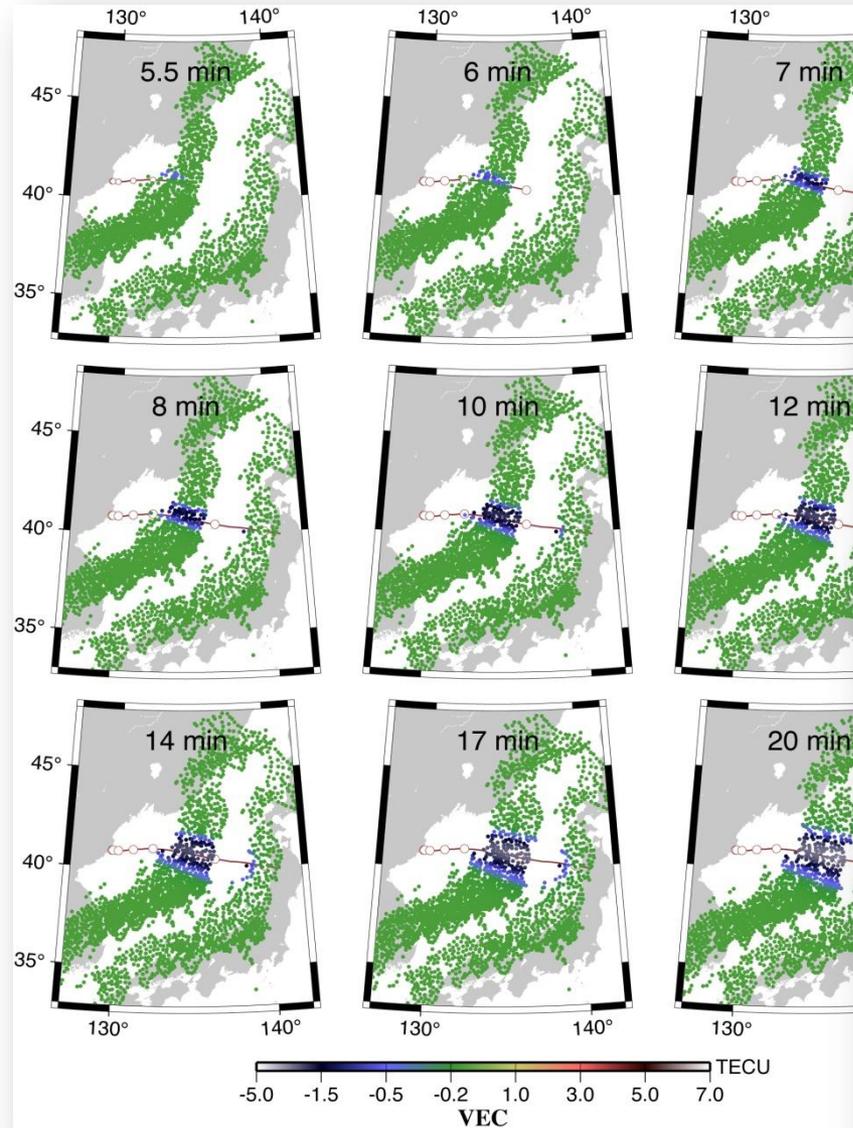
( $\text{H}_2\text{O}$ : 2% of H-IIA)

**Synthesized**  
Sat.10+24+29  
(H<sub>2</sub>O: 2% of H-IIA)



Background TEC:  
10TECU

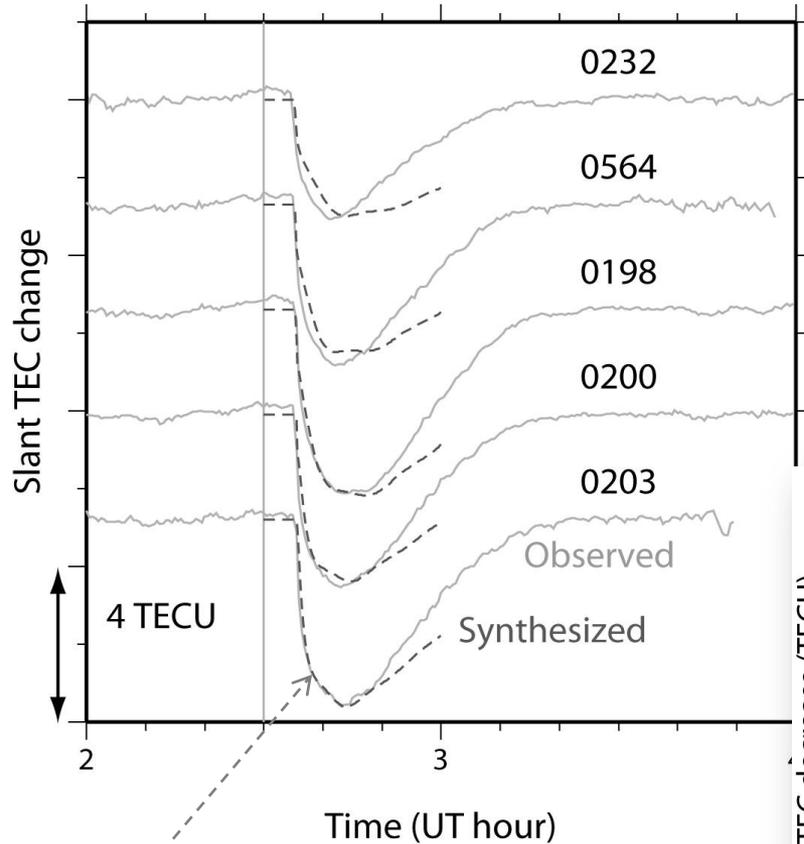
Observed



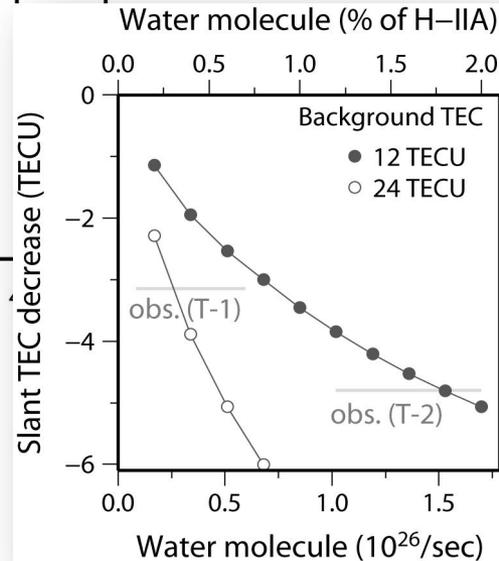
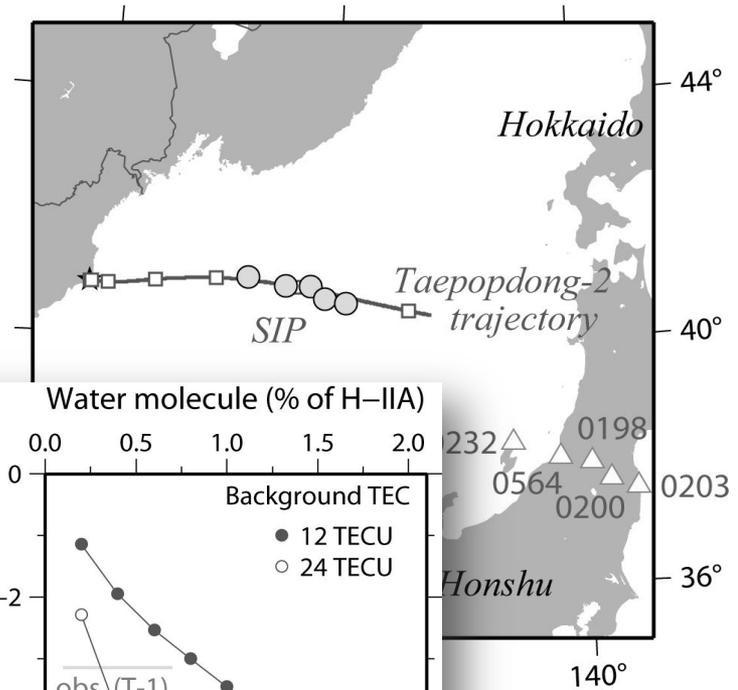
Synthesized

時系列で見てみる

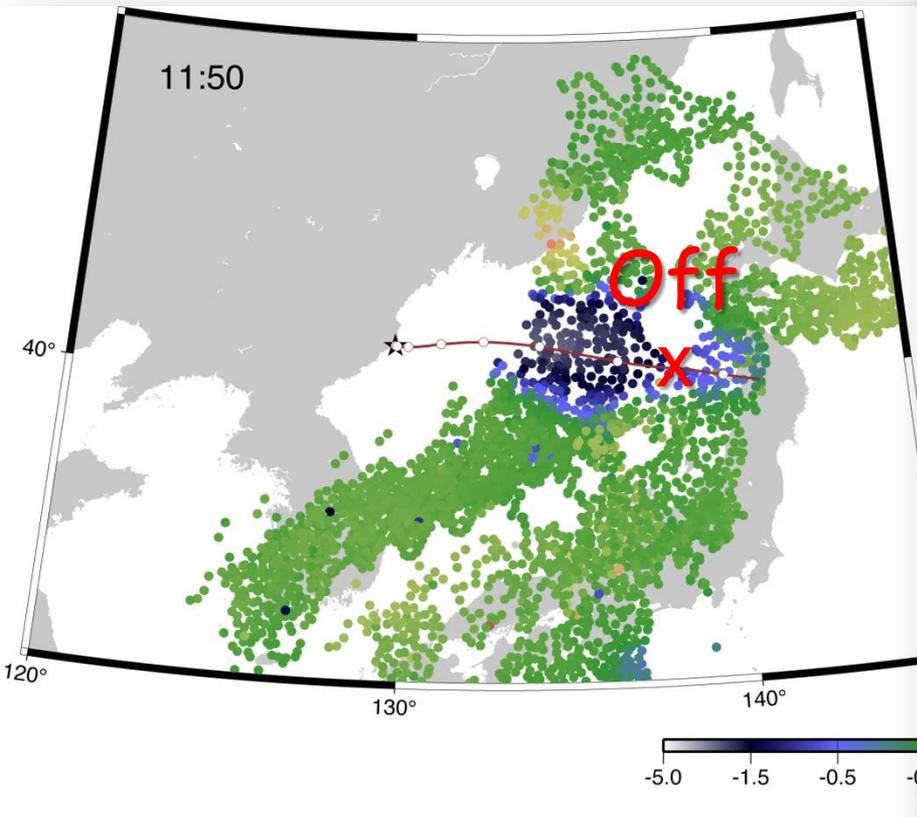
# Taepodong-2 Satellite 29 Time Series



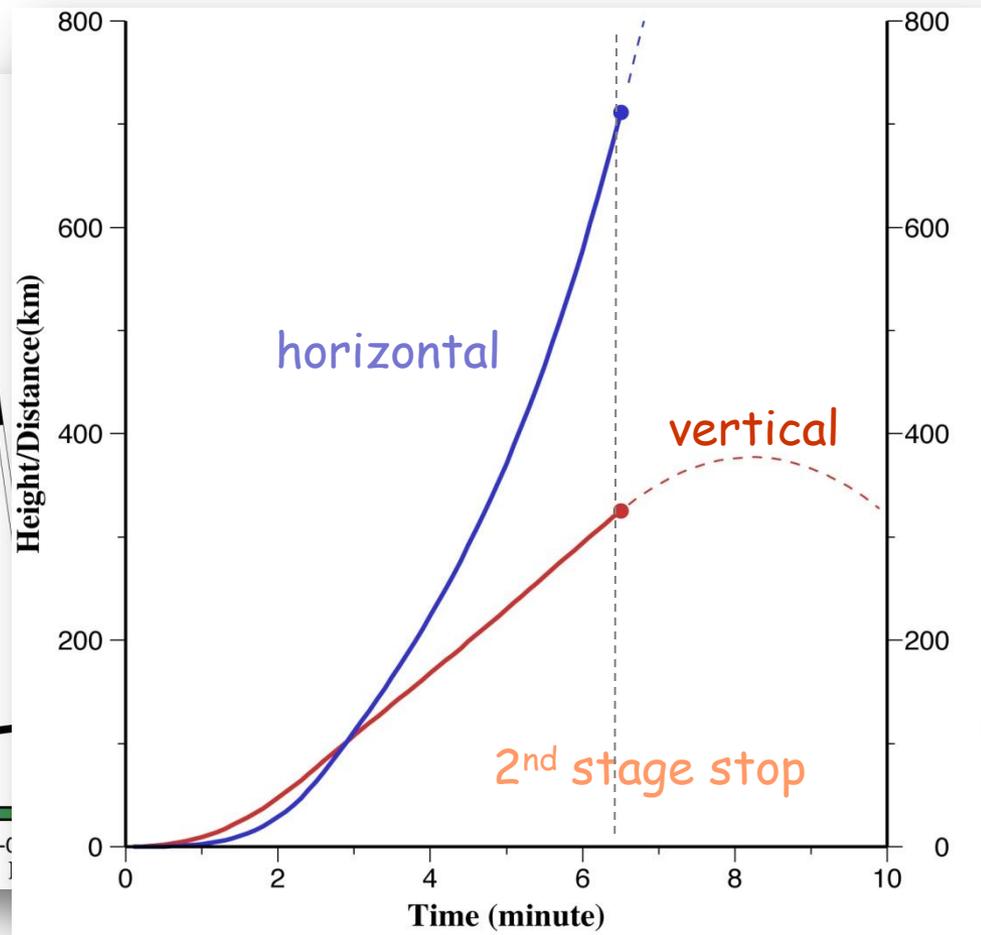
Synthesized  
( $H_2O \sim 1.7\%$ , Background: 12 TECU)



The second engine stopped ~6.5 min. after the launch



20 min. after launch (280 km)



30 min. after launch (300 km)

# 北朝鮮によるミサイル発射について

平成21年5月15日 防衛省

## 2 分析

現時点までに入手し得た諸情報を分析・検討して得られた内容は以下のとおりである。

(1) 発射後、「四月五日十一時三十分頃、北朝鮮から東の方向に1発発射された。」と発表した件については、北朝鮮は、同日十一時三十分、北朝鮮北東部沿岸地域のテポドン地区から1発の「ミサイル」を発射したと判断される

「十一時三十七分頃、東北地方から太平洋に通過したものと推定される。」と発表した件については、当該「ミサイル」は、1段目の推進装置とみられる物体を分離した後、十一時三十七分頃、我が国の上空約370km(約400kmを東北地方から太平洋に通過したと判断される。我が国領域内には落下物は確認されていない。

「落下物1が十一時三十七分頃秋田県の西、約280kmの日本海上に、落下したものと推定される。」と発表した件については、1段目の推進装置とみられる物体は、十一時三十七分頃、北朝鮮が日本海に設定した危険区域内である秋田県の西約320km(テポドン地区から約540km離れた場所)に落下したと推定される。

「落下物が十一時三十七分頃、日本海上に落下したものと推定される。」と発表した件については、1段目の推進装置とみられる物体は、十一時三十七分頃、北朝鮮が日本海に設定した危険区域内である秋田県の西約320km(テポドン地区から約540km離れた場所)に落下したと推定される。

## 第二段ロケットのエンジンオフは予定通り

本当に衛星打ち上げだったなら

## 第三段目の点火・分離の失敗

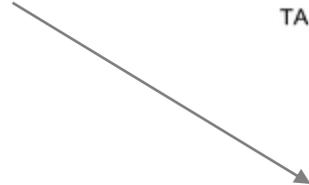
「十一時四十八分頃、日本海上に落下したものと推定される。」と発表した件については、1段目の推進装置とみられる物体は、十一時三十七分頃、北朝鮮が日本海に設定した危険区域の西端付近に落下したと推定される。

北朝鮮が発表した、「人工衛星を軌道に進入させることに成功した」と及び「衛星から旋律等が470メガヘルツで地球上に伝送されている」とは確認されていない。

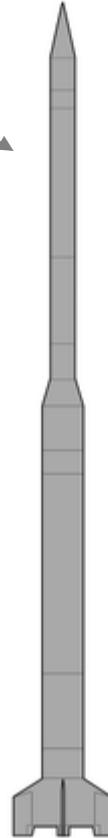
十二年前にも同じことがあ  
りましたね

# Taepodong-1 and -2

1998 Aug. 31  
03:07 UT



TAEPODONG-1



TAEPODONG-2



2009 Apr. 5  
02:30 UT

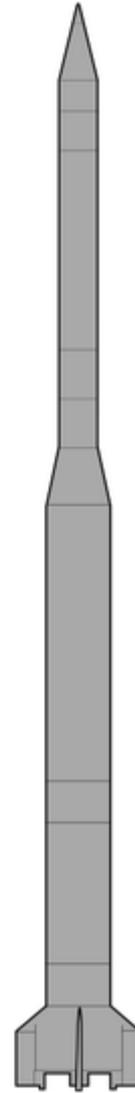
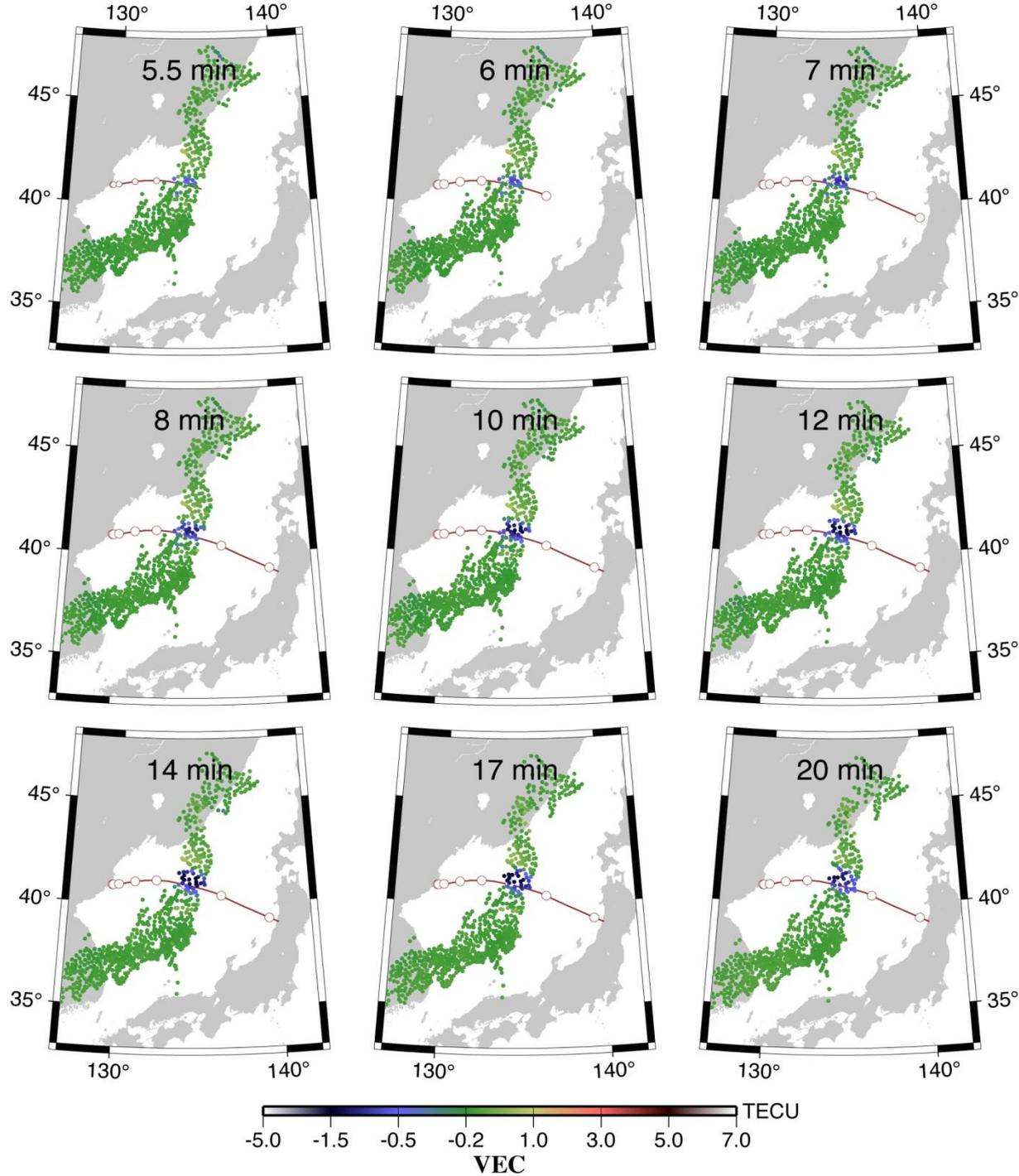
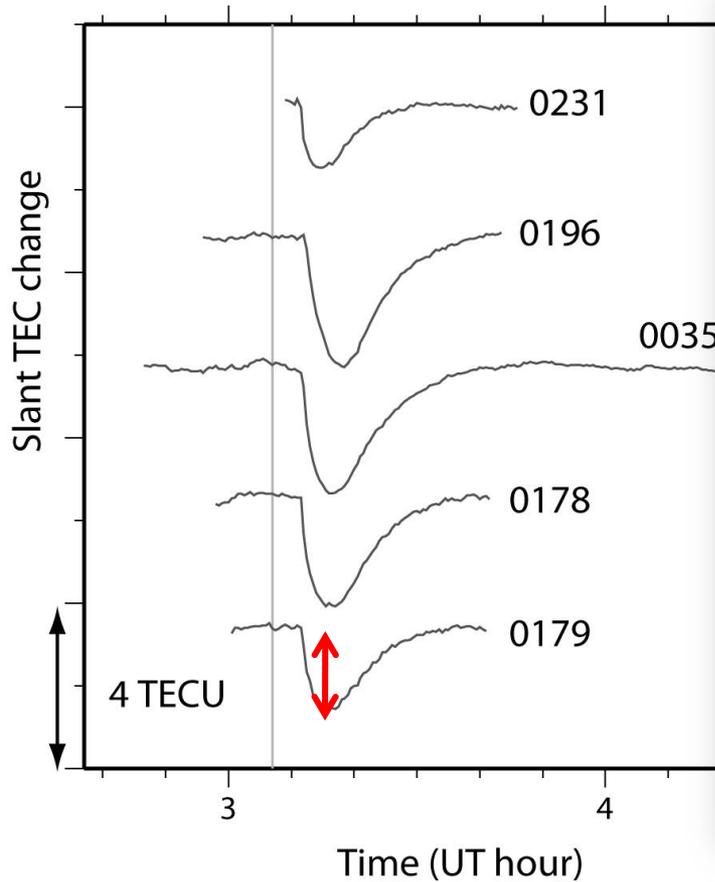


Figure from Wikipedia

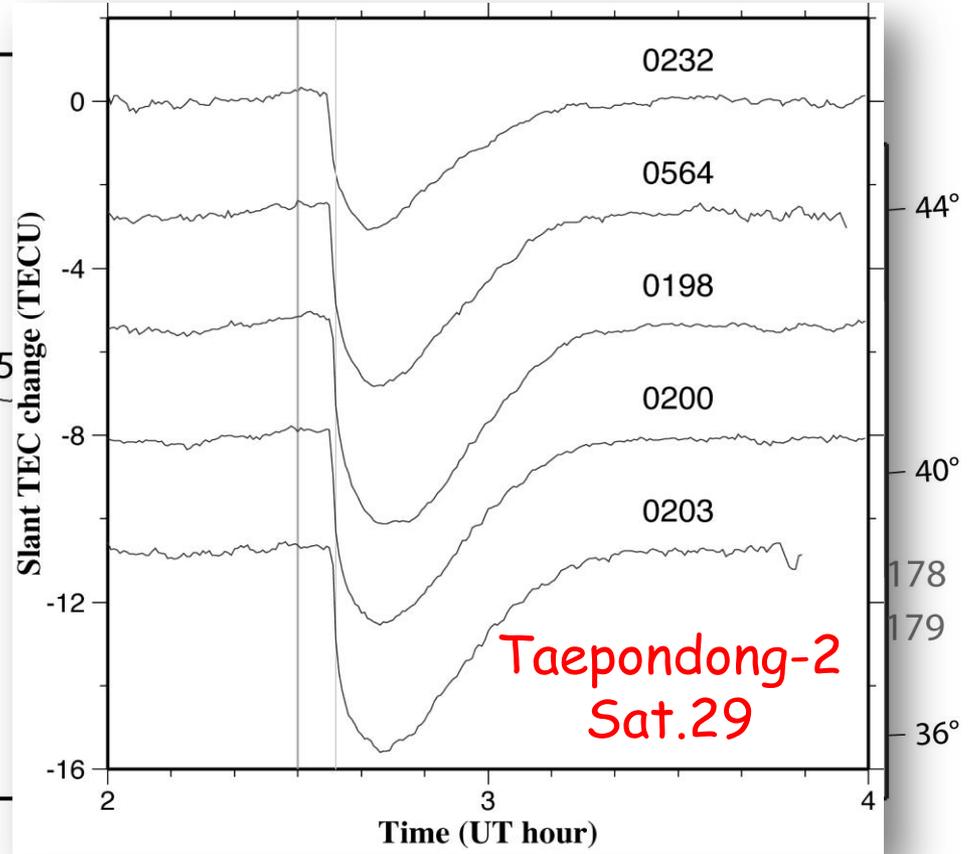
**Observed**  
Taepodong-1,  
1998 Aug.31  
Sat. 6



# Taepodong-1 Satellite 6 Time Series



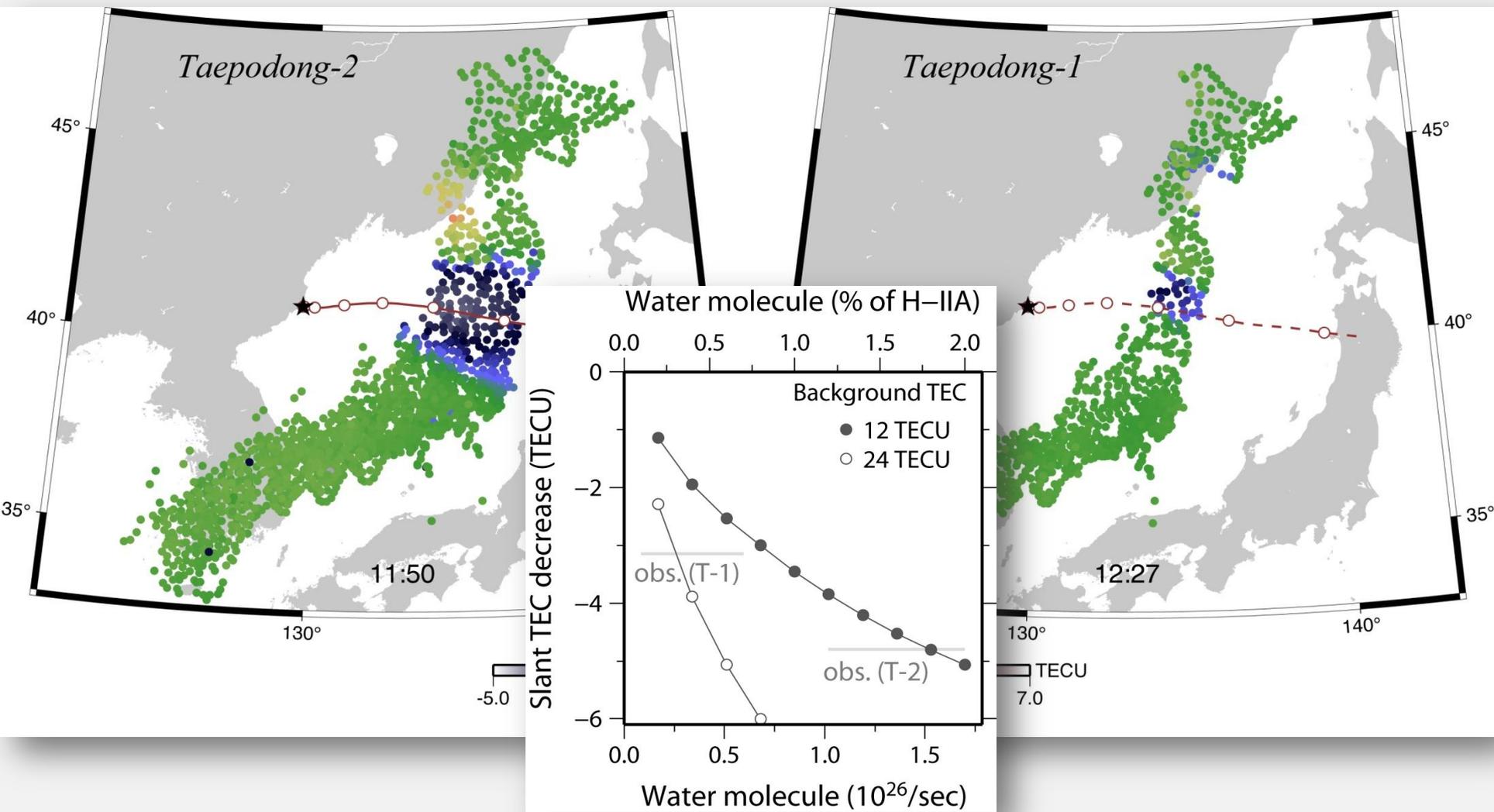
Background : 24TECU



Background : 12 TECU

# Taepodong-1 and 2 20 minutes later

テポドン2号は1号の6倍の水蒸気量



# 結論

稠密GPS網がテポドン1および2号の排気による電離圏擾乱  
(全電子数の減少)を捕捉

電子の穴は打上五分半後に生じ三十分以上継続、二段  
目の噴射は打上後六分半で止まった

計算機は観測された電子減少をよく再現

テポドン2号の水蒸気排出量は1号の六倍程度で、H2Aの1  
段目の約1.7%

防衛省のレーダー観測と相補的な情報

今度は本当に彗星を  
見つけたい